

## Beschreibung

### GESCHWEISSTE TURBINENWELLE UND VERFAHREN ZUR DEREN HERSTELLUNG

5

Die Erfindung betrifft eine in einer Längsrichtung ausgerichtete Turbinenwelle mit einem mittleren Bereich und zwei in der Längsrichtung am mittleren Bereich befestigten äusseren Bereichen. Die Erfindung betrifft ebenso ein  
10 Verfahren zur Herstellung einer Turbinenwelle.

Unter einer Dampfturbine im Sinne der vorliegenden Anmeldung wird jede Turbine oder Teilturbine verstanden, die von einem Arbeitsmedium in Form von Dampf durchströmt wird. Im  
15 Unterschied dazu werden Gasturbinen mit Gas und/oder Luft als Arbeitsmedium durchströmt, das jedoch völlig anderen Temperatur- und Druckbedingungen unterliegt als der Dampf bei einer Dampfturbine. Im Gegensatz zu Gasturbinen weist bei Dampfturbinen z. B. das einer Teilturbine zuströmende  
20 Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig den höchsten Druck auf.

Eine Dampfturbine umfasst üblicher Weise eine mit Schaufeln besetzte drehbar gelagerte Turbinenwelle, die innerhalb eines  
25 Gehäusemantels angeordnet ist. Bei Durchströmung des vom Gehäusemantel gebildeten Innenraums des Strömungsraums mit erhitztem und unter Druck stehendem Dampf wird die Turbinenwelle über die Schaufel durch den Dampf in Drehung versetzt. Die Schaufeln der Turbinenwelle werden auch als  
30 Laufschaufeln bezeichnet. Am Gehäusemantel sind darüber hinaus üblicher Weise stationäre Leitschaufeln aufgehängt, welche in die Zwischenräume der Laufschaufeln greifen. Eine Leitschaufel ist üblicher Weise an einer ersten Stelle entlang einer Innenseite des Dampfturbinengehäuses gehalten.  
35 Dabei ist sie üblicher Weise Teil eines Leitschaufelkranzes, welcher eine Anzahl von Leitschaufeln umfasst, die entlang eines Innenumfangs an der Innenseite des

Dampfturbinengehäuses angeordnet sind. Dabei weist jede Leitschaufel mit ihrem Schaufelblatt radial nach innen.

Dampfturbinen oder Dampfteilturbinen können in Hochdruck-,  
5 Mitteldruck- oder Niederdruck-Teilturbinen eingeteilt werden. Die Eingangstemperaturen und Eingangsdrücke bei Hochdruck-Teilturbinen können je nach eingesetztem Werkstoff bis zu maximal 700°C bzw. bis zu 300 bar betragen. Eine scharfe Trennung zwischen Hochdruck-, Mitteldruck- oder Niederdruck-  
10 Teilturbinen wurde in der Fachwelt bislang nicht einheitlich definiert.

Gemäß der DIN-Norm 4304 liegt eine Mitteldruck-Teilturbine vor, wenn dieser Mitteldruck-Teilturbine eine Hochdruck-  
15 Teilturbine vorgeschaltet ist, die mit Frischdampf angeströmt wird und der ausströmende Dampf aus der Hochdruck-Teilturbine in einem Zwischenüberhitzer zwischenüberhitzt wird und in die Mitteldruck-Teilturbine strömt. Eine Niederdruck-Teilturbine ist nach der Norm DIN 4304 als eine Turbine definiert, die 20 den entspannten Dampf aus einer Mitteldruck-Teilturbine als Frischdampf erhält.

Es sind eingehäusige Dampfturbinen bekannt, die eine Kombination aus einer Hochdruck- und einer Mitteldruck-  
25 Dampfturbine darstellen. Diese Dampfturbinen sind gekennzeichnet durch ein gemeinsames Gehäuse und eine gemeinsame Turbinenwelle und werden auch als Kompakt-Teilturbinen bezeichnet.

30 Kompakt-Teilturbinen werden in Bauformen ausgebildet, die mit "Reverse-Flow" oder mit "Straight-Flow" bezeichnet werden. In der "Straight-Flow"-Bauform strömt der Frischdampf in die Dampfturbine und breitet sich im wesentlichen in Axialrichtung der Dampfturbine durch die Hochdruck-  
35 Teilturbine, wird dann zur Zwischenüberhitzereinheit zum Kessel zurückgeführt und gelangt von dort in die Mitteldruck-Teilturbine.

In der "Reverse-Flow"-Bauform strömt der Frischdampf durch das Außengehäuse und trifft dort im wesentlichen auf die Mitte der Turbinenwelle und strömt anschließend durch die 5 Hochdruck-Teilturbine. Der nach der Hochdruckteil-Turbine ausströmende entspannte Dampf wird in einem Zwischenüberhitzer zwischenüberhitzt und der Dampfturbine an einer geeigneten Stelle vor der Mitteldruck-Teilturbine wieder eingeströmt. Die Strömungsrichtungen des Dampfes in 10 der Hochdruck-Teilturbine und in der Mitteldruck-Teilturbine sind hierbei entgegengesetzt.

Durch die verschiedenen Temperaturen des Dampfes werden an die Turbinenwelle besondere Anforderungen gestellt. Im 15 Einströmbereich der Hochdruck-Teilturbine werden warmfeste Eigenschaften gefordert. An den Enden der Turbinenwelle werden hohe Zeitstandsfestigkeiten unter Fliehkraft gefordert. Darüber hinaus werden gute Zähigkeitseigenschaften und Zugfestigkeiten gewünscht.

20 Bislang wurden aus einem Material bestehende Monoblock-Turbinenwellen in Kompakt-Teilturbinen eingesetzt. Insbesondere für hohe Leistungen bedeutet die Herstellung dieser Monoblock-Turbinenwellen eine teure Lösung. Ein 25 weiterer Nachteil dieser Monoblock-Turbinenwellen besteht darin, dass an den Lagerstellen verhältnismäßig teure Auftragsschweißungen aufgebracht werden müssen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Turbinenwelle 30 anzugeben, die für den Einsatz in Kompakt-Teilturbinen besonders geeignet ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren für die Herstellung einer Turbinenwelle anzugeben, die für Kompakt-Teilturbinen geeignet ist.

35 Die auf die Turbinenwelle hin gerichtete Aufgabe wird durch eine in einer Längsrichtung ausgerichtete Turbinenwelle mit einem mittleren Bereich und zwei in der Längsrichtung am

mittleren Bereich befestigten äußeren Bereichen gelöst, wobei der mittlere Bereich aus einem hochwarmfesteren Material als die beiden äußeren Bereiche hergestellt ist.

- 5 Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass oberhalb bestimmter Frischdampfeingangstemperaturen von z.B. über 565°C, für bestimmte Turbinenwellendurchmesser und ab gewissen Drehzahlen, z. B. 50 oder 60 Hz, ein Werkstoffwechsel erforderlich ist. Ursache dafür ist
- 10 überwiegend eine zunehmende Zeitstanderschöpfung unter Fliehkraft. Durch eine in Längsrichtung aus drei Bereichen bestehende Turbinenwelle wird die Möglichkeit geschaffen, Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften einsetzen zu können. Eine aus drei Bereichen ausgebildete Turbinenwelle
- 15 ist gegenüber einer Monoblock-Turbinenwelle mit den gleichen geforderten Eigenschaften weitaus günstiger.

Zusätzlich ist eine aus drei Bereichen ausgebildete Turbinenwelle gegenüber einer Monoblock-Turbinenwelle

- 20 werkstoffseitig überlegen und auf die besonderen kalt- und warmfesten Eigenschaften optimal abgestimmt.

In einer vorteilhaften Weitergestaltung werden die beiden äußeren Bereiche jeweils an dem mittleren Bereich durch eine

- 25 Schweißung miteinander verbunden. Dadurch ist eine verhältnismäßig günstige Lösung geschaffen, eine kompakte Turbinenwelle für eine Kompakt-Teilturbine herzustellen.

Der mittlere Bereich wird hierbei aus einem Schmiedestahl mit

- 30 9 bis 12 Gew.-% Chrom hergestellt und die beiden äußeren Bereiche werden aus Stählen mit 1 bis 2 Gew.-% Chrom hergestellt. Durch die Kombination von einem Schmiedestahl mit 9 bis 12 Gew.-% Chrom und einem Stahl mit 1 bis 2 Gew.-% Chrom, wird das Problem der zunehmenden Zeitstanderschöpfung
- 35 unter Fliehkraft, die oberhalb bestimmter Parameter auftreten, wie z.B. hohen Dampftemperaturen von über 565°C,

großen Rotordurchmessern und hohen Drehzahlen, z.B. 60 Hz gelöst.

In einer weiteren vorteilhaften Weitergestaltung kann der  
5 mittlere Bereich aus einem Schmiedestahl mit 10 Gew.-% Chrom und die beiden äußeren Bereiche aus Stählen mit 2 Gew.-% Chrom hergestellt werden. Genauso können die beiden äußeren Bereiche aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, für einen  
10 jeweiligen Anwendungsbereich ein passendes Material einzusetzen.

Anhand der Beschreibung und der Figuren werden Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. Dabei haben  
15 mit denselben Bezugszeichen versehene Komponenten die gleiche Funktionsweise.

Die Figuren der Zeichnungen zeigen im Einzelnen:

20 Figur 1 ein Schnittbild durch eine Kompakt-Teilturbine  
Figur 2 ein Schnittbild durch einen Teil einer  
Turbinenwelle einer Kompakt-Teilturbine.

In der Figur 1 ist ein Schnittbild einer Kompakt-Dampfturbine  
25 1 dargestellt. Die Kompakt-Teilturbine 1 weist ein Außengehäuse 2 auf, in dem eine Turbinenwelle 3 um die Rotationsachse 4 drehbar gelagert ist. Die Kompakt-Dampfturbine 1 weist ein Innengehäuse 5 mit einem Hochdruckteil 6 und einem Mitteldruckteil 7 auf. Im  
30 Hochdruckteil 6 sind verschiedene Leitschaufeln 8 angebracht.

Im Mitteldruckteil 7 ist ebenso eine Anzahl von Leitschaufeln 9 angebracht. Die Turbinenwelle 3 ist mittels Lagern 10, 11 drehbar gelagert.

Die Dampfturbine 1 weist einen Hochdruckteil 12 und einen Mitteldruckteil 13 auf. Im Hochdruckteil 12 sind Laufschaufeln 14 angebracht. Im Mitteldruck sind ebenso Laufschaufeln 15 angebracht.

5

Frischdampf mit Temperaturen von über 550°C und einem Druck von über 250 bar strömt in den Einströmbereich 16. Der Frischdampf kann auch andere Temperaturen und Drücke aufweisen. Der Frischdampf durchströmt die einzelnen

10 Leitschaufeln 8 und Laufschaufeln 14 im Hochdruckteil 12 und wird hierbei entspannt und kühlt sich ab. Hierbei wird die thermische Energie des Frischdampfes in Rotationsenergie der Turbinenwelle 3 umgewandelt. Die Turbinenwelle 3 wird dadurch in eine um die Rotationsachse 4 dargestellte Richtung in  
15 Drehung versetzt.

Nach der Durchströmung des Hochdruckteils 6 strömt der Dampf aus einem Ausströmbereich 17 in einen nicht näher dargestellten Zwischenüberhitzer und wird dort auf eine  
20 höhere Temperatur gebracht. Dieser erhitzte Dampf wird anschließend über nicht näher dargestellte Leitungen in einen Mitteldruckeinströmbereich 18 in die Kompakt-Dampfturbine 1 eingeströmt. Der Zwischenüberhitzedampf strömt hierbei durch die Laufschaufel 15 und Leitschaufel 9 und wird hierdurch  
25 entspannt und kühlt sich ab. Die Umwandlung der kinetischen Energie des zwischenüberhitzten Dampfes in eine Rotationsenergie der Turbinenwelle 3 bewirkt eine Rotation der Turbinenwelle 3. Der im Mitteldruckteil 7 ausströmende und entspannte Dampf strömt aus einem Ausströmbereich 19 aus  
30 der Kompakt-Dampfturbine 1. Dieser ausströmende entspannte Dampf kann in nicht näher dargestellten Niederdruck-Teilturbinen eingesetzt werden.

In Figur 2 ist ein Schnitt durch einen Teil der Turbinenwelle 3 dargestellt. Die Turbinenwelle 3 besteht aus einem mittleren Bereich 20 und zwei äußeren Bereichen 21 und 22.

Die Turbinenwelle 3 ist im Lagerbereich 23 mit dem Außengehäuse 5 gelagert.

Die Laufschaufeln 14, 15 sind nicht näher dargestellt. Der 5 Frischdampf trifft zunächst auf den mittleren Bereich 20 der Turbinenwelle 3 und entspannt sich im Hochdruckteil 6. Der Frischdampf kühlt sich hierbei ab. Nach einer Zwischenüberhitzereinheit strömt der Dampf mit einer hohen Temperatur wieder in den mittleren Bereich 20. Der 10 zwischenüberhitzte Dampf strömt zunächst an der Stelle des Mitteldruckeinströmbereichs 18 auf die Turbinenwelle 3 und entspannt sich und kühlt sich in Richtung des Mitteldruckteils 7 ab. Der im Mitteldruckteil 7 entspannte und abgekühlte Dampf strömt dann anschließend aus der 15 Kompakt-Teilturbine 1.

Der mittlere Bereich 20 der Turbinenwelle weist ein hochwarmfestes Material auf. Das hochwarmfeste Material ist ein Schmiedestahl mit 9 bis 12 Gew.-% Chrom-Anteil. In 20 alternativen Ausführungsformen kann der mittlere Bereich auch aus Werkstoffen auf Nickel-Basis bestehen. Für diesen Fall, sollten die beiden äußeren Bereiche 21 und 22 aus 10 bis 12 Gew.-% Chrom-Anteil bestehen.

25 Die beiden äußeren Bereiche 21 und 22 bestehen im Vergleich zum mittleren Bereich 20 aus einem weniger hochwarmfesten Material. Die beiden äußeren Bereiche 21 und 22 können aus Stählen mit 1 bis 2 Gew.-% Chrom, oder im wesentlichen aus 3,5 Gew.-% Nickel hergestellt werden.

30 Die beiden äußeren Bereiche 21 und 22 müssen nicht aus dem gleichen Material hergestellt sein. Vielmehr ist es zweckdienlich, die beiden äußeren Bereiche 21 und 22 aus unterschiedlichen Materialien herzustellen.

Der mittlere Bereich 20 und der äußere Bereich 21 werden mittels einer Schweißung 24 miteinander verbunden. Der mittlere Bereich 20 wird ebenso über eine weitere Schweißung 25 mit dem äußeren Bereich 22 verbunden. Die Turbinenwelle 3 5 ist hierbei in einer Längsrichtung, die mit der Rotationsachse 4 übereinstimmt, ausgebildet.

Falls der mittlere Bereich 20 aus einem Werkstoff auf Nickel-Basis hergestellt wird, können die äußeren Bereiche aus einem 10 Stahl mit 9 bis 12 Gew.-% Chrom hergestellt werden.

Die Turbinenwelle 3 wird wie nachfolgend beschrieben hergestellt. Der mittlere Bereich 20 wird aus einem warmfesten Material hergestellt. Der eine äußere Bereich 21 15 wird aus einem weniger warmfesten Material als der des mittleren Bereiches 20 hergestellt. Der zweite äußere Bereich 22 wird ebenfalls aus einem weniger warmfesten Material als der des mittleren Bereiches 20 hergestellt. Der mittlere Bereich 20 wird anschließend mit den beiden äußeren Bereichen 20 21, 22 verschweißt.

## Patentansprüche

1. Eine in einer Längsrichtung (4) ausgerichtete  
5 Turbinenwelle (3) mit einem mittleren Bereich (20) und  
zwei in der Längsrichtung (4) am mittleren Bereich (20)  
befestigten äußeren Bereichen (21, 22),  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der mittlere Bereich (20) aus einem hochwarmfesteren  
10 Material als die beiden äußeren Bereiche (21, 22)  
hergestellt ist.
2. Turbinenwelle (3) nach Anspruch 1,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass  
die beiden äußeren Bereiche (21, 22) jeweils mit dem  
mittleren (20) Bereich durch eine Schweißung (24, 25)  
verbunden sind.
- 20 3. Turbinenwelle (3) nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der mittlere Bereich (20) aus einem Schmiedestahl mit 9  
bis 12 Gew.-% Chrom hergestellt ist und die beiden  
25 äußeren Bereiche (21, 22) aus Stählen mit 1 bis 2 Gew.-%  
Chrom hergestellt sind.
- 30 4. Turbinenwelle (3) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die äußeren Bereiche (21, 22) aus unterschiedlichen  
Materialien hergestellt sind.

5. Turbinenwelle (3) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der mittlere Bereich (20) einen Werkstoff auf Nickel-  
Basis aufweist.

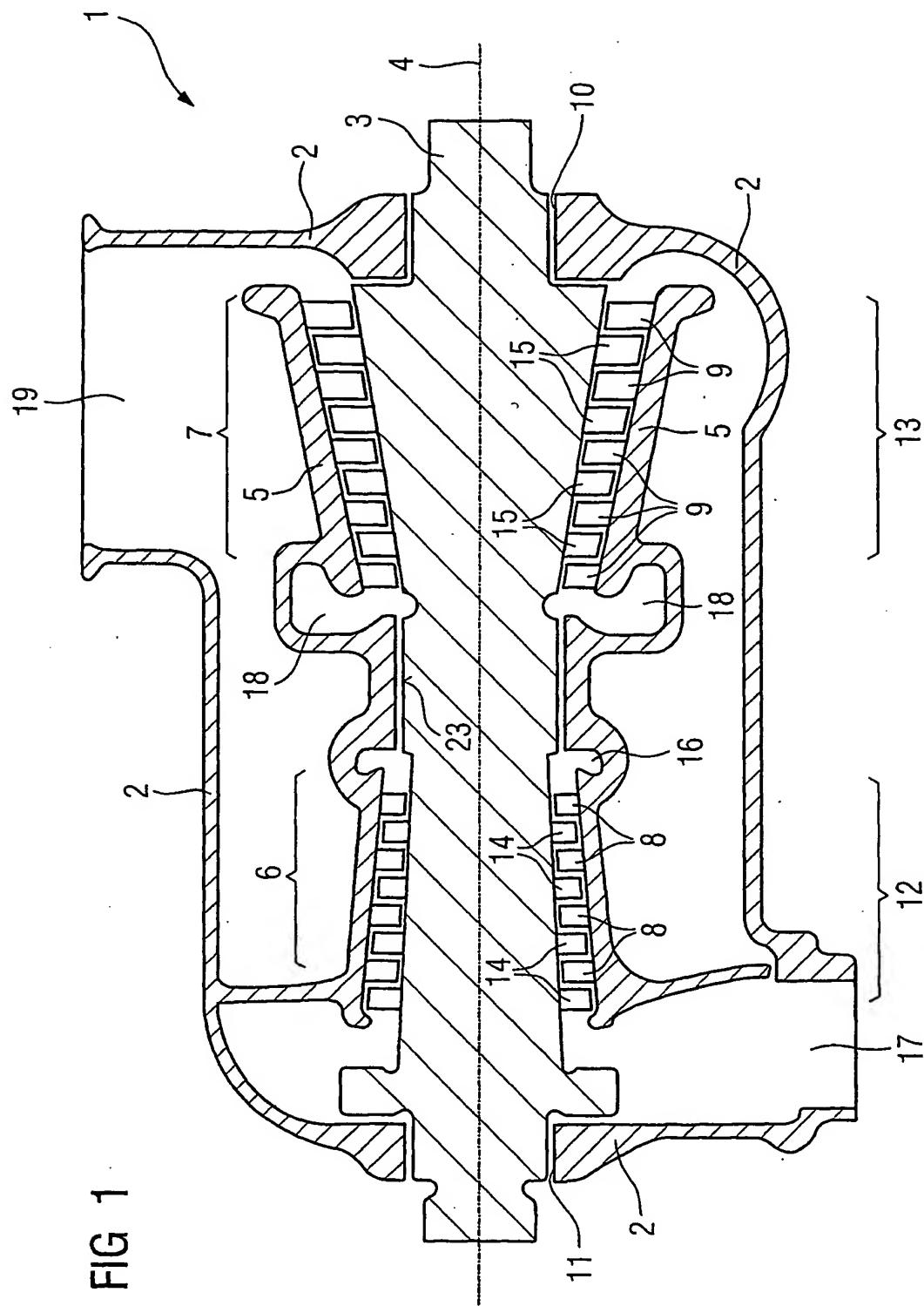
5

- 10 6. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenwelle (3),  
gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - Herstellen eines mittleren Bereiches (20) aus einem  
warmfesten Material
  - Herstellen eines äußeren Bereiches (21) aus einem  
weniger warmfesten Material als das des mittleren  
Bereiches (20)
  - Herstellen eines zweiten äußeren Bereiches (22) aus  
einem weniger warmfesten Material als das des  
mittleren Bereiches (20)
  - Verschweißen des mittleren Bereiches (20) mit den  
beiden äußeren Bereichen (21, 22).

15 20

- 20 7. Dampfturbine,  
mit einer Turbinenwelle (3) nach einem der Ansprüche 1  
bis 6.

1/2



2/2

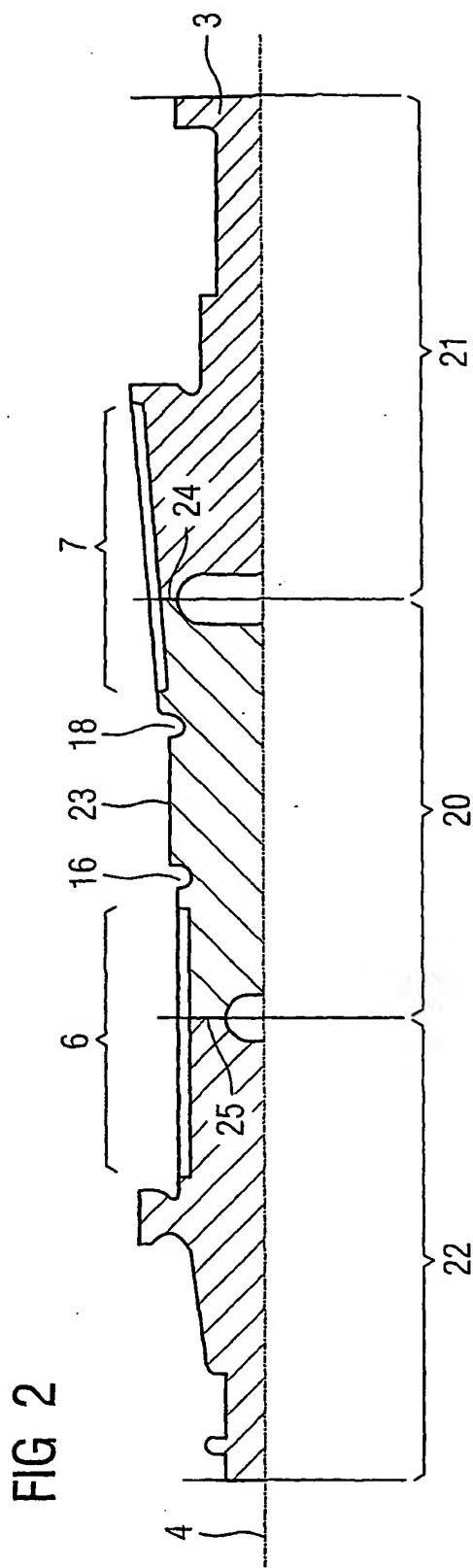


FIG 2